

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 29/24, 29/808, 29/812, 29/739	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/19342 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 7. Mai 1998 (07.05.98)
---	-----------	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/05080
(22) Internationales Anmeldedatum: 17. September 1997 (17.09.97)

(30) Prioritätsdaten:
 196 44 821.2 29. Oktober 1996 (29.10.96) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): DAIMLER-BENZ AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Epplestrasse 225, D-70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KAMINSKI, Nando [DE/DE]; Frankfurter Strasse 91a, D-64546 Mörfelden-Walldorf (DE). NEUBRAND, Horst [DE/DE]; Schützenhüttenweg 55, D-60598 Frankfurt (DE).

(74) Anwalt: FRÖHLING, Werner; Daimler-Benz AG, Intellectual Property Management, Geb. 17, Sedanstrasse 10, D-89077 Ulm (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

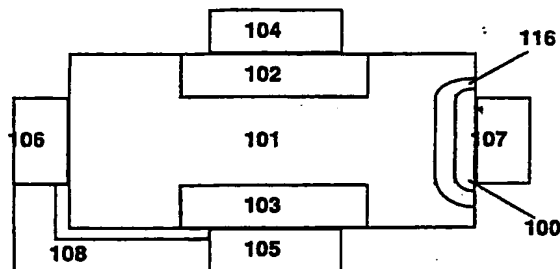
Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: CONTROLLABLE SEMICONDUCTOR STRUCTURE WITH IMPROVED SWITCHING PROPERTIES

(54) Bezeichnung: STEUERBARE HALBLEITERSTRUKTUR MIT VERBESSERTEN SCHALTEIGENSCHAFTEN

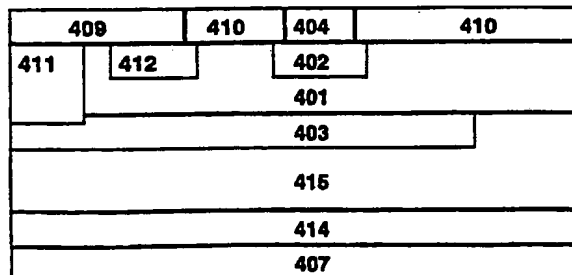
(57) Abstract

The invention concerns a controllable semiconductor structure comprising a base region (101, 201, 301, 401), a source region (106, 212, 312, 412) and a drain region (107, 213, 313, 413) a conductive duct being provided in the base region between the source and drain. According to the invention, the duct can be constricted by regions lying parallel thereto, an active control region (102, 202, 302, 402) and an opposite passive control region (103, 203, 303, 403) which each form a blockable passage with the base region (101, 201, 301, 401). Further provided is a conductive connection (108, 209, 309, 409) between the passive control region (103, 203, 303, 403) and the source region (106, 212, 312, 412), the semiconductor material of the base region (101, 201, 301, 401) having an energy gap of more than 1.2 eV.



(57) Zusammenfassung

Bei einer steuerbaren Halbleiterstruktur mit einem Basisgebiet (101, 201, 301, 401), einem Source-Gebiet (106, 212, 312, 412) und einem Drain-Gebiet (107, 213, 313, 413), wobei im Basisgebiet zwischen Source und Drain ein leitfähiger Kanal vorhanden ist, ist vorgesehen, daß der Kanal von dazu parallel liegenden Gebieten, einer aktiven Steuerzone (102, 202, 302, 402) und einer gegenüberliegenden, passiven Steuerzone (103, 203, 303, 403), die jeweils einen sperrfähigen Übergang mit dem Basisgebiet (101, 201, 301, 401) bilden, abschnürbar ist. Weiter ist vorgesehen, daß eine leitfähige Verbindung (108, 209, 309, 409) zwischen der passiven Steuerzone (103, 203, 303, 403) und dem Source-Gebiet (106, 212, 312, 412) besteht, und daß das Halbleitermaterial des Basisgebiets (101, 201, 301, 401) einen Bandabstand von mehr als 1,2 eV aufweist.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Steuerbare Halbleiterstruktur mit verbesserten Schalteigenschaften

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine steuerbare Halbleiterstruktur mit verbesserten Schalteigenschaften.

Unter der Bezeichnung JFET bzw. MESFET finden sich in der Literatur eine Vielzahl von Bauelementstrukturen, bei denen die Durchlaßeigenschaften durch die spannungsabhängige Ausdehnung einer oder mehrerer Raumladungszonen (pn-Übergang beim JFET, Schottky-Übergang beim MESFET) gesteuert werden. Die Grundstruktur wurde zuerst von W. Shockley: A Unipolar 'Field-Effect' Transistor, in Proceedings of the I.R.E., 1952 vorgeschlagen. In den Standardtechnologie-Umsetzungen wie sie bei W. von Münch, Einführung in die Halbleitertechnologie, Teubner 1993 beschrieben sind, treten jedoch große parasitäre Kapazitäten (insbesondere Eingangskapazität und Rückwirk- bzw. Miller-Kapazität) auf, die bei Verstärkern zu niedrigen Grenzfrequenzen führen und in Schaltanwendungen lange Schaltzeiten und damit große Schaltverluste verursachen. Dieses gilt z.B. auch für hochsperrende JFETs nach dem RESURF-Prinzip, wie es beispielsweise in der US-PS 4,422,089 beschrieben wird, bei denen die Feldstärkespitzen an der Bauelementoberfläche durch geeignete Wahl von Dotierung und Tiefe der lateralen Driftzone verringert werden.

Es ist aus Lehrbüchern, wie beispielsweise R. Paul: Elektronische Halbleiterbauelemente, Teubner, 1989 bekannt, daß zur Minimierung der parasitären Kapazitäten JFETs und MESFETs üblicherweise auf isolierenden bzw. semiisolierenden oder isolierten Substraten hergestellt werden (z.B. SOI-Technik oder Saphir bei Silizium, hoch kompensiertes Material bei Galliumarsenid, etc.).

Diese Techniken haben die folgenden Nachteile:

- 1) Durch das isolierende bzw. semiisolierende oder isolierte Substrat kann kein Stromfluß in vertikaler Richtung stattfinden. Mit diesem Verfahren lassen sich daher keine vertikalen Bauelemente herstellen, wodurch die Verwendung für Leistungsbauelemente eingeschränkt ist.

- 2) Die Herstellung von Wafern mit isolierendem oder isoliertem Substrat ist aufwendig und teuer. Zusätzlich können bei der weiteren Prozessierung Probleme, z.B. durch Temperaturbeschränkungen, auftreten.
- 5 3) Bei Halbleitern, die sich nicht durch Kompensation semiisolierend machen lassen, muß ein zweites Material als Isolator verwendet werden. Das führt einerseits durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten zu Verspannungen und andererseits durch die im allgemeinen geringere Wärmeleitfähigkeit des Isolators zu stärkerer Eigenenerwärmung der Bauelemente. Außerdem ist die Kristallqualität der aktiven Halbleiterschicht bei heteroepitaktischer Herstellung auf einem Isolator durch Gitterfehlانpassung häufig schlechter als bei homoepitaktisch hergestellten Schichten.
- 10 4) Die Isolationstechnik läßt sich nur bei dünnen Isolatorschichten mit der RESURF-Technik vereinbaren, wodurch wiederum die parasitären Kapazitäten größer werden.
- 15 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, durch einfache technologische Maßnahmen und mit wenigen Schritten eine Halbleiterstruktur zu schaffen, die gute Sperrwirkung aufweist und höhere Grenzfrequenzen und geringere Schaltverluste als herkömmliche Bauelemente ermöglicht.
- 20 In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt, die nachstehend beschrieben werden.

Dabei zeigt:

Fig. 1 die Grundstruktur

25 Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel (Implantation)

Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel (Epitaxie)

Fig. 4 ein vertikales Bauelement als drittes Ausführungsbeispiel und

Fig. 5 das Ergebnis einer Simulation

- 30 Fig. 1 ist eine schematische Schnittzeichnung der erfindungsgemäßen Struktur, die aus einem Halbleitergebiet 101 eines ersten Leitfähigkeitstyps als Basismaterial besteht, das an zwei Stellen von sich nicht berührenden Gebieten 102 und 103 begrenzt wird, welche aktive und passive Steuerzone genannt werden, die jeweils einen sperrfähigen Übergang mit dem Halbleitergebiet

101 bilden und von den Elektroden 104 und 105 elektrisch kontaktiert sind. Außerdem sind die beiden nicht von den beiden Steuerzonen 102 und 103 begrenzten Ränder von 101 zumindest bereichsweise von den Elektroden 106 und 107 elektrisch kontaktiert. In der dritten Dimension besitzt die erfindungsgemäße Struktur keinen elektrisch leitfähigen Pfad zwischen den Elektroden 106 und 107, der nicht durch die Zonen 102 und 103 beeinflusst werden kann.

Die erfindungsgemäße Struktur ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kontakte 105 und 106 durch eine Schicht 108 elektrisch verbunden sind, während die Kontakte 104 und 105 im Gegensatz zu herkömmlichen Strukturen verschiedenes Potential haben können, und daß das Halbleitermaterial 101 einen Bandabstand größer als 1,2 eV (bei Raumtemperatur) aufweist.

Als Halbleitermaterial kommen z.B. Galliumarsenid, die verschiedenen Polytypen von Siliziumkarbid, Galliumnitrid, Diamant und Aluminiumnitrid in Frage.

Die Gebiete 102 und 103 können unabhängig voneinander aus dem gleichen Halbleitermaterial wie das Gebiet 101, einem anderen Halbleiter als das Gebiet 101 oder aus einem Metall bestehen. Bestehen die Zonen 102 oder 103 aus Halbleitermaterial, so müssen sie den zu dem Gebiet 101 entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp besitzen. Bestehen sie aus Metall, so muß dieses Metall einen Schottky-Übergang mit dem Basismaterial des Gebiets 101 bilden.

Durch das Anlegen einer Spannung zwischen den Elektroden 104 und 106 läßt sich die Ausdehnung der Raumladungszone um die Zone 102 steuern und damit der Querschnitt des leitfähigen Kanals im Basismaterial zwischen den Elektroden 106 und 107. Wird die Spannung zwischen den Elektroden 104 und 106 so groß, daß sich die Raumladungszonen der gegenüberliegenden Gebiete 102 und 103 berühren, so wird der leitfähige Kanal zwischen 106 und 107 unterbrochen und die Verbindung dazwischen wird hochohmig. Im allgemeinen wird in diesem Betriebszustand ein mit weiter steigender Spannung zwischen den Elektroden 104 und 106 stark überproportional anwachsender Stromfluß zwischen den Elektroden 104 und 105 und damit über die leitende Verbindung 108 zur Elektrode 106 auftreten und u.U. zur Zerstörung des Bauelements oder zur Überlastung des Steuergenerators führen.

Die Erfindung beruht dagegen auf der Erkenntnis, daß die Differenz zwischen der Steuerspannung bei Abschnürung des leitfähigen Kanals und der Steuerspannung beim Einsetzen dieses Stroms durch den Bandabstand des Halbleitermaterials im Gebiet 101 beeinflusst werden kann.

Der genaue Wert dieser Steuerspannungsdifferenz wird bei gegebener Struktur und Dotierung zwar im wesentlichen von der Energielücke des Halbleitermaterials bestimmt, hängt darüberhinaus aber auch von anderen Halbleitereigenschaften, insbesondere der Dielektrizitätszahl, ab. Daher läßt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Steuerspannungsdifferenz und Bandabstand angeben. Wie durch Simulationen gefunden wurde, führt jedoch ein Halbleitermaterial mit größerem Bandabstand tendenziell auch zu einer größeren Differenz zwischen Steuerspannung bei Abschnürung des leitfähigen Kanals und der Steuerspannung beim Einsetzen des Stroms über den Steueranschluß. Die Verbindung 108 kann also nur im Zusammenhang mit einem entsprechend ausgewählten Halbleitermaterial (wide band-gap material) zur Anwendung kommen und würde z.B. bei Silizium zu einem hohen Steuerleistungsbedarf oder sogar zu kritischen Arbeitszuständen führen.

Bei den bisherigen Strukturen läßt sich dieser große Steuerleistungsbedarf nur mit einem Kurzschluß zwischen den Elektroden 104 und 105 der Steuerzonen vermeiden, wodurch sich die Verbindung 108 verbietet und die parasitären Kapazitäten sehr groß werden. Bei der erfindungsgemäßen Struktur lassen sich dagegen die parasitären Kapazitäten zwischen den Elektroden 104 und 106 (minimale Eingangskapazität) bzw. zwischen 104 und 107 (Rückwirkkapazität) im wesentlichen durch eine kleine Ausdehnung des Gebiets 102 der aktiven Steuerzone minimieren. Die Kapazität zwischen den Elektroden 105 und 106 ist durch die Verbindung 108 praktisch kurzgeschlossen und damit nahezu wirkungslos. Die Kapazität zwischen der Elektrode 105 der passiven Steuerzone 103 und der Drain-Elektrode 107 ist für die meisten Anwendung unbedeutend, da sie hier vom daran angeschlossenen Lastkreis und nicht wie bei herkömmlichen Strukturen vom Steuerkreis umgeladen wird.

Neben der oben beschriebenen Struktur, bei der ohne das Anlegen einer Steuerspannung ein leitfähiger Kanal zwischen den Elektroden 106 der Source und 107 (Drain) besteht, also Strom fließen kann („normally-on“), läßt sich durch geeignetes Design auch eine „normally-off“ Struktur erzeugen. Dazu muß der Abstand der aktiven Steuerzone 102 von der passiven Steuerzone 103 so klein bzw. die Dotierung des Basisgebiets 101 so niedrig gewählt werden, daß sich die Ruheraumladungszonen um die Steuerzonen 102 und 103 (also ohne Anlegen einer Steuerspannung zwischen den Elektroden 104 und 106) bereits berühren.

Insgesamt gesehen bildet die erfindungsgemäße Struktur eine Zwischenlösung zwischen JFET bzw. MESFET, bei denen keine Steuerelektrode mit den Lastkreiselektroden kurzgeschlossen sein darf, und dem sogenannten „current-limiter“, bei dem alle Steuerelektroden mit einer Lastkreiselektrode kurzgeschlossen sind.

Eine weitere vom sogenannten FCTh (Field Controlled Thyristor) bzw. SITH (Static Induction Thyristor) abgeleitete Variante der erfindungsgemäßen Struktur, besitzt eine der Drain-Elektrode 107 vorgelagerte Halbleiterzone 100, die einen zum Basisgebiet 101 entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp aufweist. Bei einem Stromfluß zwischen den Elektroden von Source und Drain (107 und 106) über diese Zone werden Minoritätsträger in das Basisgebiet 101 injiziert, wodurch sich dort die Leitfähigkeit erhöht. Da mindestens die Schwellenspannung des Übergangs zwischen dem Gebiet 101 und der zusätzlichen Zone 100 überwunden werden muß, eignet sich diese Struktur vor allem für hochsperrende Bauelemente. Außerdem kann zwischen dieser zusätzlichen Zone und dem Gebiet 101 noch eine weitere Zone 116 liegen, die den gleichen Leitfähigkeitstyp wie das Gebiet 101, aber eine höhere Dotierung besitzt. Durch diese Zone wird die Sperrfähigkeit des Bauelements verbessert.

Aus der Erfindung ergeben sich folgende Vorteile:

- 1) Die Struktur kann für die Herstellung vertikaler Bauelemente verwendet werden (siehe drittes Ausführungsbeispiel).
- 2) Als Ausgangsmaterial zur Herstellung dieser Struktur werden keine speziellen Wafer oder Technologieschritte benötigt (siehe Ausführungsbeispiele)
- 3) Es sind keine hohen thermischen Widerstände durch zusätzliche Isolatorschichten vorhanden. Dadurch tritt nur eine vergleichsweise geringe Eigenerwärmung auf.
- 4) Volle Kompatibilität mit der RESURF-Technik und damit auch für hochsperrende Bauelemente geeignet.
- 5) Die parasitären Kapazitäten lassen sich durch Layout bzw. technologische Maßnahmen sehr klein machen oder spielen für den Betrieb nur eine untergeordnete Rolle bzw. entfallen sogar ganz. Dadurch werden höhere Grenzfrequenzen bzw. geringere Schaltverluste erzielt.

Beispiel 1:

Fig.2 zeigt die Struktur eines lateralen Bauelements, das durch Ionenimplantation hergestellt wurde. Als Ausgangsmaterial dient hochdotiertes, n- oder p-leitendes SiC (214). Darauf wird
5 eine 10µm dicke, p-leitende SiC-Epitaxieschicht als passive Steuerzone 203 mit einer Dotierungskonzentration von 10^{16}cm^{-3} aufgebracht. In dieser Schicht wird eine n-leitende Kanalzone bzw. ein Basisgebiet 201 mit einer Dotierungskonzentration von 10^{17}cm^{-3} durch Stickstoff- oder Phosphor-Ionenimplantation erzeugt. In diesem Gebiet 201 werden die hochdotierten, n-leitenden Source- und Drain- Zonen 212 und 213 durch Stickstoff- oder Phosphor-
10 Ionenimplantation hergestellt, um die elektrische Kontaktierung des Basisgebiets 201 zu verbessern. Durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation werden schließlich die hochdotierten, p-leitenden Zonen, aktive Steuerzone 202 und die Kontaktierungszone 211 erzeugt. Der Unterschied in der Eindringweite der Ionenimplantation von 201 und 202 beträgt ca. 0,4µm. Anschließend werden die Implantationen durch eine Temperaturbehandlung vorzugsweise zwischen 1000
15 und 2000°C ausgeheilt bzw. aktiviert. Zur Passivierung der Oberfläche wird eine Siliziumdioxidschicht 210 aufgebracht. Durch maskiertes Ätzen dieser Oxidschicht werden die aktive Steuerzone 202 und die Kontaktierungszone 211, sowie Source- und Drain 212 und 213 zugänglich gemacht und anschließend metallisiert, wobei die Zonen 211 und 212 vorzugsweise durch eine Metallisierung 209 kurzgeschlossen werden.

20

Wird bei dem so hergestellten Bauelement an der Drain-Elektrode 207 ein gegenüber der Elektrode 209 positives Potential angelegt, dann fließt ohne eine Potentialdifferenz zwischen den Elektroden 204 und 209 ein Strom von 207 nach der Elektrode 209 („normally-on“). Durch Anlegen eines gegenüber der Elektrode 209 negativen Potentials an der Elektrode 204 der aktiven
25 Steuerzone 202 kann die Raumladungszone im Gebiet um 202 vergrößert und damit der Stromfluß zwischen den Elektroden 207 und 209 verringert werden. Durch Anlegen eines gegenüber der Elektrode 209 positiven Potentials an die Elektrode 204 wird die Raumladungszone um das Gebiet der aktiven Steuerzone 202 herum verkleinert und der Strom zwischen den Elektroden 207 und 209 nimmt zu. Handelt es sich bei der Sperrschicht zwischen der aktiven Steuerzone
30 202 und der Basis 201 um einen pn-Übergang, so kann bei Überschreiten der Schwellenspannung die Leitfähigkeit im Kanalgebiet der Basis 201 durch Minoritätsladungsträgerinjektion noch verbessert werden (Leitfähigkeitsmodulation).

Beispiel 2:

Fig.3 zeigt die Struktur eines lateralen Bauelements, das durch einen zweiten Epitaxieschritt hergestellt wurde. Als Ausgangsmaterial dient hochdotiertes, n- oder p-leitendes SiC (Gebiet 314).
5 Darauf wird als passive Steuerzone eine 10µm dicke, p-leitende Epitaxieschicht 303 mit einer Dotierungskonzentration von 10^{16}cm^{-3} und eine 1µm dicke, n-leitende Epitaxieschicht 301 als Basisgebiet für die Kanalzone mit einer Dotierungskonzentration von 10^{17}cm^{-3} aufgebracht. Zur Kontaktierung der Schicht 303 wird durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation die hochdotierte, p-leitende Kontaktierungszone 311 erzeugt, die von der Oberfläche her durch das Basisgebiet 301 hindurchreicht. Im Basisgebiet 301 werden die hochdotierten, n-leitenden Zonen 312 und 313 durch Stickstoff- oder Phosphor-Ionenimplantation hergestellt, um die elektrische Kontaktierung von Source und Drain zum Basisgebiet 301 und seiner Kanalzone zu verbessern. Durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation wird schließlich die 0,6µm tiefe, hochdotierte, p-leitende aktive Steuerzone 302 erzeugt. Anschließend werden die Implantationen durch eine
15 Temperaturbehandlung vorzugsweise zwischen 1000 und 2000°C ausgeheilt bzw. aktiviert. Zur Passivierung der Oberfläche wird eine Siliziumdioxidschicht 310 aufgebracht. Durch maskiertes Ätzen dieser Oxidschicht werden die Steuerzone 302 und die Kontaktierungszonen 311, 312 und 313 zugänglich gemacht und anschließend metallisiert, wobei die Zonen 311 und 312 durch die Elektrode 309 kurzgeschlossen werden. Die Funktionsweise dieses Bauelements ist analog zu der
20 des ersten Ausführungsbeispiels.

Fig.5 zeigt die anhand von Simulationen ermittelten Stromdichten, die an einem Bauelement mit der in diesem Ausführungsbeispiel genannten Struktur, Dotierung etc., aber unterschiedlichen Halbleitermaterialien (Germanium, Silizium, 6H-Siliziumkarbid) auftreten. Die Stromdichten
25 sind dabei über der Steuerspannung, also der Spannung zwischen den Elektroden 304 und 309 aufgetragen. Der Laststrom, also in diesem Beispiel der Strom, der bei einer festen Ausgangsspannung von 10V (zwischen den Elektroden 307 und 309) von 313 nach 312 fließt, ist jeweils als durchgezogene Linie dargestellt. Dagegen ist der Steuerstrom, also der Strom, der unerwünschterweise über die Steuerzone 302 nach 303 fließt, als gestrichelte Linie gezeichnet.

30

Die Probleme, die sich bei einem Halbleitermaterial mit kleinem Bandabstand ergeben, lassen sich sehr gut am Beispiel des Germanium-Bauelements ablesen (Bandabstand von Germanium bei Raumtemperatur: $E_G(300\text{K}) = 0,66\text{ eV}$). Wird z.B. eine Stromdichte von 10^{-2} Acm^{-2} als un-

schädlich für den Steuergenerator und als ausreichend klein für den „Aus“-Zustand des Lastkreises definiert, so kann das Germanium-Bauelement nicht verwendet werden. Bereits bei einer Stromdichte von ca. $0,1 \text{ Acm}^{-2}$ ist der Steuerstrom genauso groß wie der Laststrom und steigt
5 etwa exponentiell mit der Steuerspannung weiter an. Das Silizium-Bauelement (Silizium: $E_G(300\text{K}) = 1,12 \text{ eV}$) weist dagegen bereits eine Spannungsdifferenz von knapp einem Volt auf, was für einen sicheren Betrieb jedoch bei weitem nicht ausreicht. Erst durch die Verwendung von Siliziumkarbid (in diesem Fall der 6H-Polytyp mit $E_G(300\text{K}) \approx 3 \text{ eV}$) wird die Spannungsdifferenz auf über 4,5V vergrößert, wodurch sich ein sicherer Betrieb gewährleisten läßt.

10

Beispiel 3:

Fig.4 zeigt die Struktur eines erfindungsgemäßen vertikalen Bauelements, das durch einen zweiten Epitaxieschritt hergestellt wurde. Als Ausgangsmaterial dient hochdotiertes, n-leitendes SiC. Auf diese Substratschicht 414 wird eine $10\mu\text{m}$ dicke, n-leitende Epitaxieschicht 415 mit einer
15 Dotierungskonzentration von 10^{16}cm^{-3} und aufgebracht. In dieser Epitaxieschicht wird die $0,6\mu\text{m}$ tiefe, hochdotierte, p-leitende passive Steuer- bzw. Abschirmzone 403 durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation erzeugt und anschließend durch eine Temperaturbehandlung vorzugsweise zwischen 1000 und 2000°C ausgeheilt bzw. aktiviert. Darauf wird eine zweite $1\mu\text{m}$ dicke, n-leitende Epitaxieschicht 401 mit einer Dotierungskonzentration von 10^{17}cm^{-3} als Basisgebiet
20 aufgebracht. Zur Kontaktierung der Zone 403 wird durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation die hochdotierte, p-leitende Kontaktierungszone 411 erzeugt, die von der Oberfläche her durch das Basisgebiet 401 hindurchreicht. In einer weiteren Ausführungsform zum Herstellen einer Kontaktierungszone wird ein Fensterbereich weggeätzt, so daß die Zone 403 direkt von der Oberfläche zugänglich ist. Im Gebiet 401 wird die hochdotierte, n-leitende
25 Zone 412 durch Stickstoff- oder Phosphor-Ionenimplantation hergestellt, um die elektrische Kontaktierung zum Basisgebiet 401 zu verbessern. Durch Aluminium- oder Bor-Ionenimplantation wird schließlich die $0,6\mu\text{m}$ tiefe, hochdotierte, p-leitende aktive Steuerzone 402 erzeugt. Anschließend werden die Implantationen durch eine Temperaturbehandlung vorzugsweise zwischen 1000 und 2000°C ausgeheilt bzw. aktiviert. Zur Passivierung der Oberfläche
30 wird eine Siliziumdioxidschicht 410 aufgebracht. Durch maskiertes Ätzen dieser Oxidschicht werden die aktive Steuerzone 402 und die Kontaktierungszonen 411 und 412 zugänglich gemacht und anschließend metallisiert, wobei die Zonen 411 und 412 durch 409 kurzgeschlossen werden. Außerdem wird die Elektrode 407 durch Metallisierung der Rückseite hergestellt.

Das besondere Kennzeichen dieser Struktur ist die Entkopplung von Steuerbereich und Driftbereich, wodurch diese getrennt optimiert werden können. Die Funktionsweise des Steuerbereichs (Kanalzone 401, aktive Steuerzone 402 und passive Steuer- bzw. Abschirmzone 403) ist analog zu der Struktur des ersten Ausführungsbeispiels. Zusätzlich ist jedoch die Driftzone 415 vorhanden, die im Betrieb die Sperrspannung zwischen Abschirmzone 403 und Substrat 414 aufnehmen muß. Durch den schmalen Verbindungsbereich (bei o.g. Werten z.B. $2\mu\text{m}$) zwischen zwei Abschirmzonen 403 tritt schon bei kleinen Sperrspannungen eine Abschirmung des oberen Steuerbereichs von der Driftzone ein, so daß kein Potentialdurchgriff auftritt. Dadurch ist diese Struktur besonders für hohe Sperrspannungen geeignet.

Patentansprüche

1. Steuerbare Halbleiterstruktur mit einem Basisgebiet (101, 201, 301, 401), einem Source-
Gebiet (106, 212, 312, 412) und einem Drain-Gebiet (107, 213, 313, 413), wobei im Ba-
sisgebiet zwischen Source und Drain ein leitfähiger Kanal vorhanden ist,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Kanal von dazu parallel liegenden Gebieten, einer aktiven Steuerzone (102, 202,
302, 402) und einer gegenüberliegenden, passiven Steuerzone (103, 203, 303, 403), die
jeweils einen sperrfähigen Übergang mit dem Basisgebiet (101, 201, 301, 401) bilden,
abschnürbar ist, daß eine leitfähige Verbindung (108, 209, 309, 409) zwischen der passi-
ven Steuerzone (103, 203, 303, 403) und dem Source-Gebiet (106, 212, 312, 412) be-
steht, und daß das Halbleitermaterial des Basisgebiets (101, 201, 301, 401) einen Bandab-
stand von mehr als 1,2 eV aufweist.
2. Halbleiterstruktur nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß Source- (106, 212, 312, 412) und Draingebiet (107, 213, 313, 413) auf gegenüber-
liegenden Flächen angeordnet sind.
3. Halbleiterstruktur nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Source- und die Draingebiet auf der gleichen Fläche des Halbleiterbauelements
angeordnet sind wie die aktive Steuerzone (102, 202, 302, 402).
4. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die aktive Steuerzone (102, 202, 302, 402) und die passiven Steuerzone (103, 203,
303, 403) sich auf Potentialen befinden, die jeweils unabhängig voneinander wählbar
sind.
5. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,

daß als Halbleitermaterial Galliumarsenid, die verschiedenen Polytypen von Siliziumkarbid, Galliumnitrid, Diamant, Aluminiumnitrid, allein oder in Kombination vorgesehen sind.

5

6. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die aktive oder passive Steuerzone unabhängig voneinander aus dem gleichen Halbleitermaterial wie das Basisgebiet (101, 201, 301, 401), einem davon verschiedenen Halbleitermaterial oder aus einem Metall bestehen.

10

7. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch Anlegen einer Spannung zwischen Source und der Elektrode der aktiven Steuerzone (102, 202, 302, 402) die Ausdehnung der Raumladungszone in der Basis steuerbar ist.

15

8. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Drain-Elektrode (107) eine Halbleiterzone (100) vorgelagert ist, die einen zum Basisgebiet (101) entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp aufweist.

20

9. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß zwischen Basisgebiet (101) und der Drainzone (100) noch eine weitere Zone (116) angeordnet ist, die den gleichen Leitfähigkeitstyp wie das Basisgebiet (101) aber eine höhere Dotierung aufweist.

25

10. Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch Wahl des Halbleitermaterials sich die Steuerspannungsdifferenz, die zwischen der Abschnürung des leitfähigen Kanals und dem Einsetzen eines Steuerstroms besteht, mit dem Bandabstand vergrößert.

30

1 / 3

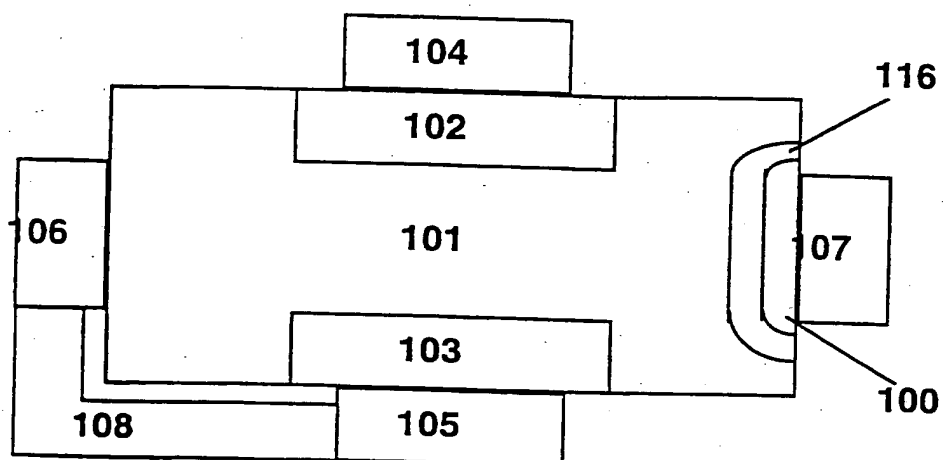


Fig.1

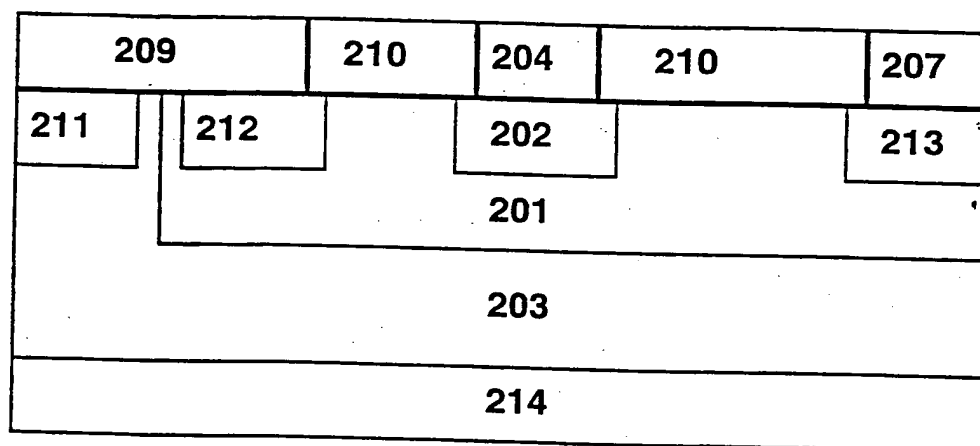


Fig.2

2 / 3

309		310	304	310	307
311	312		302		313
	301				
	303				
314					

Fig.3

409		410	404	410
411	412		402	
	401			
403				
415				
414				
407				

Fig.4

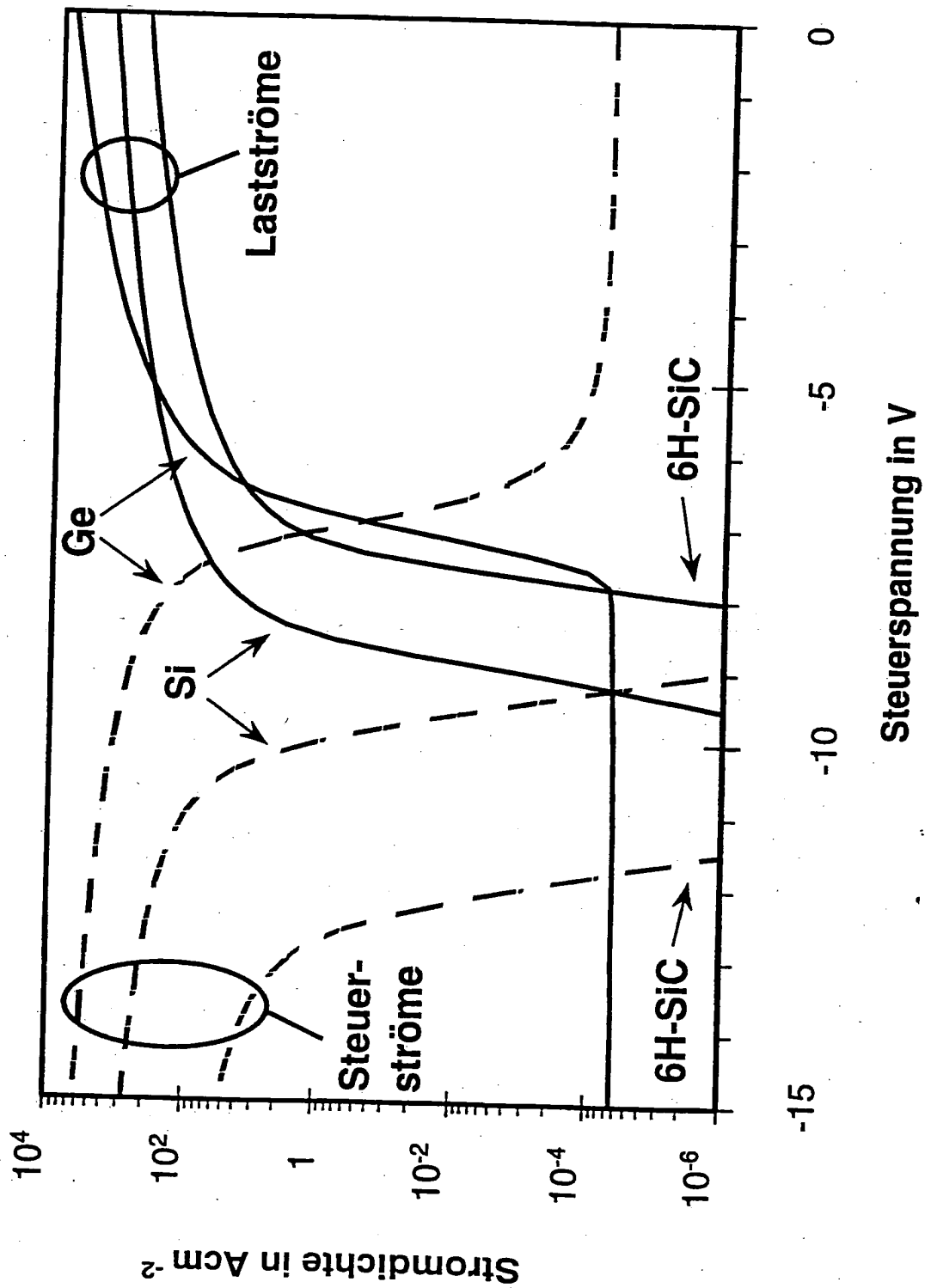


Fig.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No

PCT/EP 97/05080

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L29/24 H01L29/808 H01L29/812 H01L29/739

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 1 396 830 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION) 4 August 1965 see the whole document	1-5
Y	EP 0 703 629 A (DAIMLER BENZ AG) 27 March 1996 see the whole document	1,2,4-7, 9,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 173 (E-259), 9 August 1984 & JP 59 065486 A (MATSUSHITA DENSHI KOGYO KK), 13 April 1984, see abstract	1,2,4-7, 9,10
A	GB 2 052 860 A (PHILIPS NV) 28 January 1981 see the whole document	1
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 January 1998

Date of mailing of the international search report

29/01/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mimoun, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/EP 97/05080

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>ALOK D ET AL: "HIGH VOLTAGE (450V) 6H-SIC LATERAL MESFET STRUCTURE"</p> <p>26 September 1996, METAL FINISHING, VOL. 94, NR. 9, PAGE(S) 1929 - 1931 XP000637916</p> <p>---</p>	1,3-7,9,10
A	<p>US 4 371 886 A (HARTMAN ADRIAN R ET AL) 1 February 1983</p> <p>see the whole document</p> <p>-----</p>	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

national Application No

PCT/EP 97/05080

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 1396830 A	04-08-65	GB 1017355 A US 3254280 A	31-05-66
EP 0703629 A	27-03-96	DE 4430732 A	28-03-96
GB 2052860 A	28-01-81	NL 7904200 A AU 537860 B AU 5881180 A CA 1150854 A DE 3019927 A FR 2458147 A JP 1322872 C JP 55158676 A JP 60044834 B SE 8003898 A US 4498094 A	02-12-80 19-07-84 04-12-80 26-07-83 04-12-80 26-12-80 27-06-86 10-12-80 05-10-85 30-11-80 05-02-85
US 4371886 A	01-02-83	AU 529702 B AU 5386679 A BE 880728 A CA 1123122 A CH 659151 A DD 147897 A DK 353380 A FR 2445026 A GB 2049283 A,B HK 69384 A IN 153497 A JP 1012106 B JP 55501079 T NL 7920184 A NL 7920184 T SE 446139 B SE 8005703 A WO 8001337 A US 4602268 A	16-06-83 26-06-80 16-04-80 04-05-82 31-12-86 22-04-81 15-08-80 18-07-80 17-12-80 14-09-78 21-07-84 28-02-89 04-12-80 31-10-80 31-10-80 11-08-86 13-08-80 26-06-80 22-07-86

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/05080

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H01L29/24 H01L29/808 H01L29/812 H01L29/739

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 1 396 830 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION) 4. August 1965 siehe das ganze Dokument	1-5
Y	EP 0 703 629 A (DAIMLER BENZ AG) 27. März 1996 siehe das ganze Dokument	1, 2, 4-7, 9, 10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 173 (E-259), 9. August 1984 & JP 59 065486 A (MATSUSHITA DENSHI KOGYO KK), 13. April 1984, siehe Zusammenfassung	1, 2, 4-7, 9, 10
A	GB 2 052 860 A (PHILIPS NV) 28. Januar 1981 siehe das ganze Dokument	1
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Januar 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/01/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Mimoun, B

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/05080

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	ALOK D ET AL: "HIGH VOLTAGE (450V) 6H-SIC LATERAL MESFET STRUCTURE" 26.September 1996 , METAL FINISHING, VOL. 94, NR. 9, PAGE(S) 1929 - 1931 XP000637916 ---	1,3-7,9, 10
A	US 4 371 886 A (HARTMAN ADRIAN R ET AL) 1.Februar 1983 siehe das ganze Dokument -----	8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

ationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/05080

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 1396830 A	04-08-65	GB 1017355 A US 3254280 A	31-05-66
EP 0703629 A	27-03-96	DE 4430732 A	28-03-96
GB 2052860 A	28-01-81	NL 7904200 A AU 537860 B AU 5881180 A CA 1150854 A DE 3019927 A FR 2458147 A JP 1322872 C JP 55158676 A JP 60044834 B SE 8003898 A US 4498094 A	02-12-80 19-07-84 04-12-80 26-07-83 04-12-80 26-12-80 27-06-86 10-12-80 05-10-85 30-11-80 05-02-85
US 4371886 A	01-02-83	AU 529702 B AU 5386679 A BE 880728 A CA 1123122 A CH 659151 A DD 147897 A DK 353380 A FR 2445026 A GB 2049283 A, B HK 69384 A IN 153497 A JP 1012106 B JP 55501079 T NL 7920184 A NL 7920184 T SE 446139 B SE 8005703 A WO 8001337 A US 4602268 A	16-06-83 26-06-80 16-04-80 04-05-82 31-12-86 22-04-81 15-08-80 18-07-80 17-12-80 14-09-78 21-07-84 28-02-89 04-12-80 31-10-80 31-10-80 11-08-86 13-08-80 26-06-80 22-07-86,